

① RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

⑪ N° de publication : **2 645 275**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

⑫ N° d'enregistrement national : **89 04024**

⑬ Int Cl⁸ : G 01 N 33/44, 27/02 // C 08 J 5/24.

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

⑭ Date de dépôt : 28 mars 1989.

⑮ Priorité :

⑯ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 40 du 5 octobre 1990.

⑰ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑱ Demandeur(s) : *BARTOLO René.* — FR.

⑲ Inventeur(s) : René Bartolo.

⑳ Titulaire(s) :

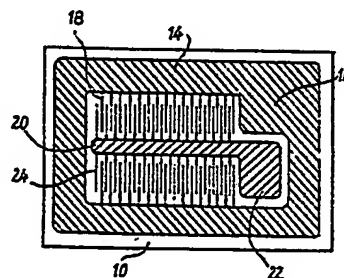
㉑ Mandataire(s) : Cabinet Arnaud.

㉒ Procédé et appareil de contrôle d'une polymérisation, et capteur pour leur mise en œuvre.

㉓ L'invention concerne le contrôle de l'évolution de polymé-
risations.

Elle se rapporte à un procédé de contrôle d'une polymérisa-
tion dans lequel une variable électrique est mesurée à l'aide
d'un capteur à circuit 10-24 permettant une mesure d'impé-
dance résistive et d'impédance capacitive en courant alternatif.
Le capteur comprend une première série d'électrodes 18 reliée
à une première borne 16 et une seconde série d'électrodes 24
reliée à une autre borne 22, les électrodes étant séparées par
une distance de l'ordre de quelques dizaines de microns.

Application au contrôle de la fabrication des objets de
matériaux composites.



FR 2 645 275
- A1

La présente invention concerne un procédé de contrôle d'une polymérisation, ainsi qu'un appareil et un capteur utilisés lors de la mise en oeuvre de ce procédé.

Bien qu'une application particulièrement avantageuse de l'invention soit le contrôle de la polymérisation des matériaux composites au cours de leur fabrication, elle a des applications plus vastes puisqu'elle concerne de façon générale tous les procédés mettant en oeuvre une polymérisation au cours de laquelle un capteur peut être placé au contact du matériau qui polymérise. Cependant, afin que l'invention puisse être mieux comprise, la description qui suit concerne essentiellement son application à la fabrication d'objets formés de matériaux composites, c'est-à-dire de matériaux comportant une armature (fibres, tissus, feutres, fils, etc.), préimprégnée ou non, dans un liant de matière plastique non totalement polymérisée, de type thermoplastique ou thermodurcissable. Bien que les exemples considérés concernent essentiellement des matières thermodurcissables, l'invention n'est pas limitée à cette seule application.

Dans un exemple de fabrication d'un objet d'un matériau composite, par exemple constitué d'une armature, en une ou plusieurs couches, imprégnée d'un liant destiné à être polymérisé, un corps non polymérisé est d'abord préparé par empilement de couches, imprégnation, etc. Ensuite, le corps est mis sous vide afin que les bulles de gaz qui peuvent être présentes dans le liant et qui pourraient réduire la résistance mécanique de l'objet final, soient chassées. Cette application de vide peut être réalisée soit dans un four utilisé pour le chauffage de l'objet pendant sa polymérisation, soit dans une enceinte qui peut être simplement formée par un sac souple. L'objet est ensuite porté à une certaine température et est maintenu à cette température pendant un certain temps. Au cours du chauffage, une pression est appliquée. Le rôle de la pression appliquée est de comprimer l'objet afin que des cavités ne puissent pas se former et réduire sa résistance mécanique.

Dans cette fabrication, considérée simplement à titre d'exemple, on note qu'un certain nombre d'opérations sont nécessaires : application de vide, arrêt de cette application, début d'un chauffage, régulation de la température à une valeur déterminée, arrêt d'un chauffage, application d'une pression, etc. Toutes ces opérations doivent être réalisées à des moments déterminés pour que le polymère du liant soit parfaitement polymérisé et donne au matériau composite la plus grande résistance mécanique et la plus grande intégrité possible.

En général, ces diverses opérations sont commandées empiriquement, par comparaison à des opérations semblables réalisées antérieurement.

Parfois, des témoins réalisés de la même manière que l'objet, avec les mêmes matériaux et suivant les mêmes processus, sont traités en même temps que l'objet dont la polymérisation est effectuée. Ces témoins sont retirés successivement en cours de polymérisation et, en fonction de leur état (déterminé par mesure d'une ou plusieurs propriétés physiques), le déroulement de la polymérisation de l'objet peut être modifié, par réglage d'une température, d'une pression, etc.

Ce procédé présente des inconvénients. En effet, il ne permet pas un suivi en "temps réel", c'est-à-dire qu'il ne donne pas de résultats obtenus en continu et en un temps suffisamment court pour que toute action convenable puisse être prise. Si un tel procédé devait être utilisé pour le réglage précis et continu d'une polymérisation d'un objet, il faudrait qu'un très grand nombre de témoins soient traités avec l'objet, et que chaque témoin puisse être comparé à des témoins correspondants d'une opération de référence réalisée antérieurement. En pratique, étant donné ces inconvénients, on se contente de quelques témoins, retirés chacun à un moment où on estime que la polymérisation doit être terminée. La résistance mécanique du témoin retiré est déterminée et, si elle est suffisante, le processus de polymérisation est interrompu. Si elle est insuffisante, le

processus est poursuivi jusqu'à la sortie d'un autre témoin soumis aux mêmes opérations.

L'invention concerne le contrôle d'une telle polymérisation, mais elle ne nécessite pas l'utilisation de nombreux témoins et elle donne des résultats en temps réel, ces résultats étant représentatifs de la totalité du déroulement de la réaction de polymérisation. Ainsi, selon l'invention, la polymérisation est contrôlée par mesure en temps réel d'une variable qui évolue pendant tout le déroulement de la polymérisation.

Plus précisément, l'invention concerne un procédé de contrôle d'une polymérisation au moins partielle, du type qui comprend la mesure d'au moins une variable évoluant au cours de la polymérisation, avec formation d'un signal de mesure, le traitement du signal de mesure, et, en fonction du résultat du traitement, la commande d'un facteur agissant sur le déroulement de la polymérisation ; selon l'invention, la variable est d'un type qui évolue pendant pratiquement la totalité du déroulement de la polymérisation, la mesure est effectuée en temps réel ou pratiquement en temps réel, sur l'objet lui-même ou sur un témoin représentatif de l'objet et subissant la polymérisation en même temps que celui-ci, sans interruption de la polymérisation, et le traitement du signal de mesure comporte la comparaison de ce signal ou d'une grandeur qui en est dérivée à une valeur antérieure de ce signal ou de cette grandeur.

Il est avantageux que la variable soit de type électrique, par exemple une conductivité ionique ou un déphasage électrique entre un signal d'excitation et un signal de mesure d'un capteur. Il est aussi avantageux que la grandeur soit liée à la viscosité du matériau de l'objet.

Dans un mode de réalisation, la mesure comprend, de façon répétitive, l'excitation, par un signal à fréquence variable, d'un capteur placé au contact de l'objet, la détermination de la fréquence de résonance de la constante diélectrique du matériau de l'objet, la mesure du déphasage entre le signal d'excitation et le signal du capteur à la

résonance, et la détermination de ladite grandeur à partir de ce déphasage.

Il est avantageux que la mesure comprenne à la fois la mesure d'une conductivité et la mesure d'un déphasage électrique, et que le traitement détermine une grandeur qui
5 est proportionnelle à la viscosité.

Dans un mode de réalisation, la commande d'un facteur agissant sur la polymérisation est le réglage d'une température, l'arrêt de l'application de vide ou l'appli-
10 cation d'une pression.

L'invention concerne aussi un appareil destiné à la mise en oeuvre d'un procédé tel que défini dans les paragraphes précédents, et comprenant un oscillateur à fréquence variable destiné à créer un signal d'excitation, un
15 capteur capacitif destiné à être placé au contact de l'objet ou d'un témoin représentatif de l'objet, de manière que le diélectrique du capteur capacitif soit formé au moins en partie du polymère de l'objet ou du témoin, et destiné à recevoir le signal de l'oscillateur, un comparateur de
20 déphasage destiné à recevoir le signal d'excitation et le signal du capteur, et un circuit de traitement et de commande destiné à commander le fonctionnement d'un dispositif utilisateur.

Dans un mode de réalisation, le dispositif utilisateur
25 teur comporte un dispositif d'affichage d'une grandeur dépendant du déphasage détecté. Dans un autre mode de réalisation, le dispositif utilisateur comporte un circuit de commande d'un paramètre.

L'invention concerne aussi un capteur destiné à la
30 mise en oeuvre du procédé précédent, et qui comporte un support diélectrique souple, et un circuit métallique formé sur le support diélectrique, ayant une faible épaisseur et comprenant au moins deux ensembles d'électrodes sous forme de peignes imbriqués, le métal du circuit étant
35 pratiquement libre de manière que, lorsqu'il est placé contre un objet contenant un polymère non totalement polymérisé, le polymère constitue une partie au moins du

diélectrique placé entre les électrodes.

Dans un exemple de capteur, l'épaisseur du circuit est de l'ordre de quelques microns, et l'espacement des parties d'électrodes formant les peignes imbriqués est de
5 quelques dizaines de microns.

Selon une caractéristique avantageuse, le circuit forme un anneau de garde entourant les électrodes.

Dans un mode de réalisation avantageux, le capteur comporte en outre un thermocouple juxtaposé au circuit
10 afin qu'il soit au contact d'un objet lorsque le circuit est aussi au contact de l'objet.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

15 la figure 1 est une vue schématique en plan d'un exemple de capteur utile pour la mise en oeuvre de l'invention ;

la figure 2 est un graphique représentant l'allure des variations de température d'un objet en cours de polymérisation ;
20

la figure 3 indique, avec la même échelle des temps que la figure 2, la variation de la conductivité ionique de l'objet en cours de polymérisation ;

la figure 4 représente, avec la même échelle des
25 temps que les figures 2 et 3, la variation d'une grandeur proportionnelle à la viscosité ;

la figure 5 représente l'évolution du facteur de perte d'un exemple de polymère au cours d'une polymérisation ;

30 la figure 6 est un graphique représentant l'évolution de l'angle de perte d'un polymère au cours du temps, pendant sa polymérisation ; et

la figure 7 est un diagramme synoptique d'un appareil destiné à la mise en oeuvre du procédé de l'invention.

35 Avant la description des dessins annexés, il convient de considérer de façon générale le déroulement d'une réaction de polymérisation, par exemple d'une matière ther-

modurcissable, au cours de la fabrication d'un objet d'un matériau composite. Le polymère est initialement à un état fluide relativement visqueux, et il imprègne le matériau d'armature et forme la surface externe de l'objet. Au début
5 de la réaction de polymérisation et au cours du chauffage, la viscosité diminue normalement et le polymère subit une pré-gélification. Ensuite, lorsqu'une température suffisante est atteinte, le polymère passe dans une zone de gélification dans laquelle la viscosité ne diminue plus et
10 commence à augmenter. Le polymère passe alors dans une zone caoutchoutique dans laquelle sa viscosité augmente. Lorsque le polymère s'est refroidi après la réaction de polymérisation, il a une structure vitreuse de très grande viscosité.

Dans un mode de réalisation avantageux, l'invention
15 tire parti de cet état initial de viscosité relativement faible pour la mise du polymère au contact d'un capteur tel que représenté sur la figure 1, afin que diverses variables électriques évoluant au cours de la polymérisation, puissent être mesurées.

20 La figure 1 représente un exemple de capteur particulièrement utile dans le cadre de l'invention. Ce capteur comporte un support ou substrat souple 10, par exemple formé d'une feuille de "Mylar" de quelques dizaines de microns d'épaisseur. Un circuit métallique est formé sur
25 une face de cette feuille par un procédé de type connu, par exemple par dépôt sous vide. Une première partie du circuit comporte un anneau de garde 14, solidaire d'une plage conductrice 16 de connexion, et des électrodes 18 en forme de dents de peigne. Une seconde partie du circuit comporte
30 une partie centrale 20 aboutissant à une plage conductrice 22 de connexion et ayant des électrodes en forme de dents de peigne 24. Les dents 18 et 24 sont imbriquées comme représenté et ne sont pas en contact mutuel. L'épaisseur du circuit est de l'ordre de 5 μm et l'espacement des élec-
35 trodes adjacentes 18, 24 est de 35 μm par exemple. Bien entendu, ces valeurs peuvent être modifiées. Le nombre de dents de chaque peigne atteint plusieurs centaines. De

cette manière, malgré la très faible épaisseur du circuit , sa capacité a une valeur non négligeable.

Lorsque la face du capteur qui porte le circuit est appliquée contre un objet d'un matériau composite avant la polymérisation de celui-ci, le polymère de la surface externe de l'objet occupe l'espace compris entre les électrodes à la surface du substrat 10. Il constitue donc au moins partiellement le diélectrique du condensateur formé par le capteur 10. Le capteur permet donc la mesure d'une impédance capacitive représentative de la variation de la constante diélectrique du polymère placé en surface. Par ailleurs, le polymère possède une certaine conductivité ionique et la mesure de l'impédance résistive entre les deux plages conductrices 16, 22 permet la connaissance de la conductivité ionique du polymère placé au contact des électrodes 18, 24.

Ainsi, un capteur unique permet la mesure de variables donnant une connaissance de la conductivité ionique, par mesure de l'impédance en courant alternatif, à une fréquence suffisamment faible pour qu'elle soit représentative de la conductivité ionique, et de la permittivité et du facteur de perte, par mesure de l'impédance en courant alternatif à plus haute fréquence.

Plus précisément, la conductivité ionique est directement proportionnelle à l'inverse de l'impédance mesurée en courant alternatif à faible fréquence. Par contre, la mesure de l'angle de perte, du facteur de perte et de façon générale d'une grandeur proportionnelle à la viscosité, est plus délicate. En effet, pour que les mesures soient représentatives, il convient de les effectuer en courant alternatif à la fréquence de résonance de la constante diélectrique ou, plus précisément, du facteur de perte. En conséquence, le déphasage entre le signal alternatif d'excitation du capteur et le signal de mesure de celui-ci est mesuré lors du balayage de la fréquence du signal d'excitation, à partir d'une valeur basse vers des valeurs élevées ou inversement à partir d'une valeur élevée vers des

valeurs basses. Autour de la fréquence de résonance, le facteur de perte présente une variation dans un sens puis une variation rapide dans l'autre sens avant retour dans le premier sens. La fréquence est déterminée au moment de la variation rapide. La mesure de l'impédance capacitive et la connaissance de cette fréquence permettent alors la détermination du facteur de perte, de l'angle de perte et d'une grandeur proportionnelle à la viscosité. On sait en effet déduire, de la permittivité et du facteur de perte, une grandeur proportionnelle à la viscosité. On n'indique pas les formules mathématiques donnant ces relations d'une part parce qu'elles sont bien connues des hommes du métier et d'autre part parce qu'il ne s'agit que d'un exemple, les variables mesurées pouvant être utilisées à l'état brut pour la commande des différentes actions.

Plus précisément, dans un exemple correspondant aux figures 2 à 6, le capteur représenté sur la figure 1 est placé au contact de l'objet de matériau composite qui doit être polymérisé ou, lorsque la surface de celui-ci ne le permet pas (pour des raisons de forme ou d'aspect), sur un témoin réalisé exactement dans les mêmes conditions que l'objet, avec les mêmes matériaux. Dans l'exemple considéré, l'objet est formé de tissus de verre imprégnés de résine époxyde n° 1454 de Ciba Geigy. Un thermocouple est aussi placé au contact de l'objet ou du témoin. L'objet, avec éventuellement le témoin, est placé dans un sac de matière plastique et un vide est appliqué à celui-ci de manière que les bulles éventuellement présentes dans le polymère soient chassées.

Ensuite, l'objet, avec éventuellement le témoin, est placé dans un four, tout en étant maintenu sous vide. La température du four est élevée progressivement jusqu'à 120 °C environ. Dès le début du chauffage, le capteur est utilisé pour la mesure des impédances en courant alternatif à haute et basse fréquences.

Lorsque par exemple la courbe de conductivité ionique représentée sur la figure 3 indique que la conduc-

tivité a atteint son maximum, la température est réglée à 120 °C, l'application de vide est supprimée et une pression est appliquée. La diminution ultérieure rapide de la conductivité ionique indique que le déroulement de la polymé-
5 risation est satisfaisant, étant donné que le niveau de conductivité ionique atteint relativement vite une faible valeur. Lorsque la température est revenue à la température ambiante (partie droite des courbes), la conductivité ionique résultante est une mesure de la qualité de la poly-
10 mérisation.

La courbe indiquant les variations d'une grandeur proportionnelle à la viscosité, représentée sur la figure 4, donne des indications analogues relatives au moment où la viscosité est la plus faible (diminution de la viscosité
15 due au chauffage sans que l'augmentation de viscosité due à la polymérisation soit encore importante), et elle présente l'avantage, par rapport à la courbe de conductivité ionique, de présenter une variation plus progressive au cours de la polymérisation. Cependant, la valeur finale de
20 cette grandeur est moins représentative de l'état final du polymère que la valeur finale de la conductivité ionique. Les courbes des figures 5 et 6, représentant la variation du facteur et de l'angle de perte, donnent des indications utiles sur la fin de la polymérisation, toujours pendant la
25 période de chauffage.

Il apparaît ainsi que plusieurs variables électriques peuvent donner des indications relatives au déroulement de la polymérisation. Suivant la matière thermodur-
cissable ou thermoplastique utilisée et suivant les opéra-
30 tions mises en oeuvre au cours de la polymérisation, une variable peut être préférable à une autre. Par exemple, la conductivité ionique est utile pour la commande de la suppression de l'application de vide et/ou de l'application d'une pression, et pour la détermination de la qualité
35 finale du polymère. Par contre la variation de viscosité, du facteur et de l'angle de perte peut être préférable pour la détermination de la fin de la période de polymérisation.

Bien entendu, dans un mode de réalisation avantageux, il est préférable de suivre l'évolution de plusieurs variables. Le capteur représenté sur la figure 1 est particulièrement utile à cet effet.

5 On considère maintenant, en référence à la figure 7, un exemple d'appareil utile pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention, à l'aide du capteur représenté sur la figure 1.

10 L'appareil comporte un circuit 26 de commande, à base d'un microprocesseur, qui commande un oscillateur 28 à balayage de fréquence. Par exemple, l'oscillateur peut balayer la plage de fréquences comprise entre 2 Hz et 80 kHz. Le signal d'excitation provenant de l'oscillateur 28 parvient à des bornes 30 auxquelles est relié le capteur
15 représenté sur la figure 1. Le signal revenant du capteur et mis en forme par un circuit 32 est acheminé à un circuit détecteur de crête 34 par l'intermédiaire d'un contact A d'un commutateur 36, commandé par le circuit 26. Le signal du détecteur de crête 34 est transmis par une borne C d'un
20 commutateur 38 à un circuit 40 de mesure de tension qui transmet les valeurs mesurées au circuit central de commande 26. Celui-ci calcule la conductivité ionique du polymère qui est au contact du capteur relié aux bornes 30.

25 Pendant les mesures en courant alternatif à fréquence élevée, le signal d'excitation de l'oscillateur 28, à la fréquence commandée par le circuit 26, est mis en forme dans un circuit 42 et parvient à un circuit 46 de sommation. Le signal du capteur transmis par le circuit 32 est mis en forme par un circuit 44 et parvient au circuit
30 46 de sommation. Ce dernier transmet un signal correspondant au déphasage des deux signaux au circuit 48 qui transmet le résultat au circuit 26 de commande. Celui-ci est relié à un dispositif utilisateur par une ligne 50. Le dispositif utilisateur peut être un simple dispositif d'affichage ou peut être au contraire un dispositif plus
35 élaboré qui commande, par exemple, un dispositif de chauffage et/ou l'application d'une pression.

On note que le circuit 26 de commande, grâce aux commutateur 36 et 38, commande le fonctionnement séquentiel de l'appareil : mesure de l'impédance en courant alternatif à faible fréquence, mesure de l'impédance en courant alternatif à fréquence plus élevée et mesure de température, par l'intermédiaire d'un circuit 52 à thermocouple qui peut être relié par la borne D du commutateur 38. Il assure aussi le traitement des signaux et la commande des dispositifs utilisateurs. Bien entendu, les commutateurs 36 et 38 et l'ensemble des circuits de la figure 7, à l'exception des bornes 30, peuvent être réalisés sous forme de dispositifs à semi-conducteur.

Grâce à la mesure en temps réel de variables, l'invention permet une véritable régulation en boucle fermée des opérations de polymérisation des matières thermoplastiques et thermodurcissables utilisées pour la fabrication des matériaux composites. Jusqu'à présent, une telle régulation en boucle fermée n'a pas été réalisable d'une manière simple et peu coûteuse. Il faut en effet noter que l'un des avantages de l'invention est qu'elle utilise un capteur peu onéreux et qui n'est utilisé qu'une fois. Bien qu'on puisse envisager de le réutiliser, ce capteur est de préférence laissé sur la pièce terminée ou sur un prolongement de la pièce destiné à être coupé avant utilisation. De tels capteurs, fabriqués en série, sont peu onéreux et donnent des résultats extrêmement précis, fiables et reproductibles.

Dans un perfectionnement, le capteur comporte au moins une borne supplémentaire, et un thermocouple est fixé au substrat du capteur et est relié à cette borne. De cette manière, le capteur composite permet la mesure à la fois d'une température et d'au moins une variable électrique.

Bien qu'on ait décrit l'invention en référence à une matière thermodurcissable polymérisée par chauffage, il faut noter qu'elle s'applique à toutes les réactions de polymérisation dans lesquelles le capteur peut être mis directement au contact du polymère. Une application impor-

tante de l'invention est ainsi la fabrication d'objets de grande dimension formés de stratifiés dont le liant polymérise à froid, par exemple les coques de bateaux de plaisance.

- 5 Dans le cas de grandes structures ou de groupes de structures, l'appareil peut comporter un multiplexeur relié aux bornes d'entrée 30 et transmettant successivement les signaux de plusieurs capteurs.

- 10 Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art aux procédés, appareils et capteurs qui viennent d'être décrits uniquement à titre d'exemples non limitatifs sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle d'une polymérisation, au moins partielle,

du type qui comprend la mesure d'au moins une
5 variable évoluant au cours de la polymérisation, avec formation d'un signal de mesure, le traitement du signal de mesure, et, en fonction du résultat du traitement, la commande d'un facteur agissant sur le déroulement de la polymérisation,

10 caractérisé en ce que :

- la variable est d'un type qui évolue pendant pratiquement la totalité du déroulement de la polymérisation,

- la mesure est effectuée en temps réel ou pratiquement en temps réel, sur l'objet lui-même ou sur un témoin
15 représentatif de l'objet et subissant la polymérisation en même temps que celui-ci, sans interruption de la polymérisation, et

- le traitement du signal de mesure comporte la comparaison de ce signal ou d'une grandeur qui en est dérivée à une valeur antérieure de ce signal ou de cette
20 grandeur.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la variable est une conductivité ionique.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2,
25 caractérisé en ce que la variable est un déphasage électrique entre un signal d'excitation et un signal de mesure d'un capteur.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la mesure comprend, de manière répétitive :

30 - l'excitation, par un signal à fréquence variable, d'un capteur placé au contact de l'objet,

- la détermination d'une fréquence de résonance de la constante diélectrique du matériau de l'objet,

- la mesure du déphasage entre le signal d'excitation et le signal du capteur à la résonance, et
35

- la détermination de ladite grandeur à partir de ce déphasage.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la mesure comprend à la fois la mesure d'une conductivité et la mesure d'un déphasage électrique, et le traitement détermine une grandeur
5 qui est proportionnelle à la viscosité du polymère.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la commande d'un facteur agissant sur la polymérisation est le réglage d'une température, l'arrêt de l'application de vide ou l'application
10 d'une pression.

7. Appareil destiné à la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend

- un oscillateur (28) à fréquence variable destiné à
15 créer un signal d'excitation,

- un capteur capacitif (10-24) destiné à être placé au contact de l'objet ou d'un témoin représentatif de l'objet, de manière que le diélectrique du capteur capacitif soit formé au moins en partie du polymère de l'objet
20 ou du témoin, le capteur étant destiné à recevoir le signal de l'oscillateur,

- un comparateur (48) de déphasage destiné à recevoir le signal d'excitation et le signal du capteur, et

- un circuit (26) de traitement et de commande destiné à commander le fonctionnement d'un dispositif utilisateur.
25

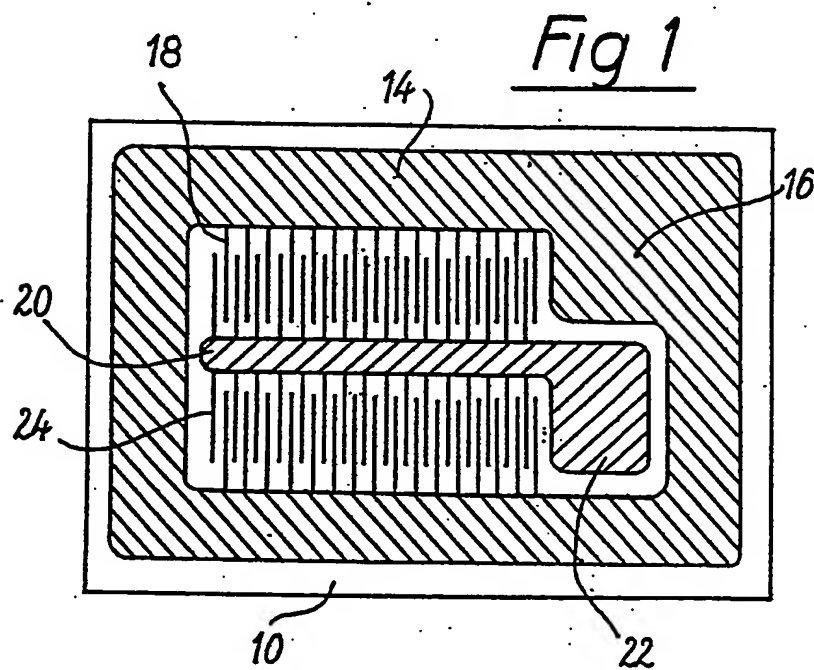
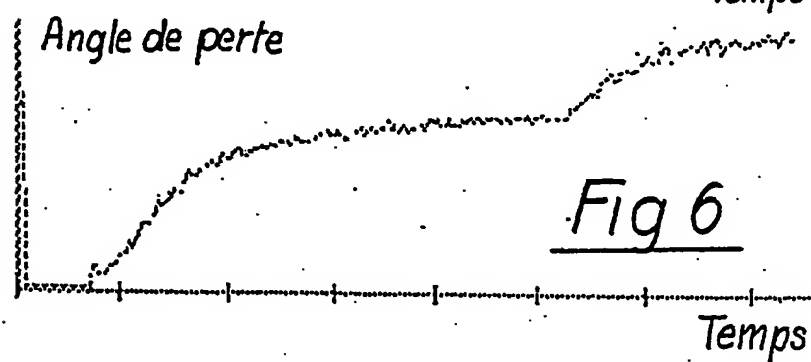
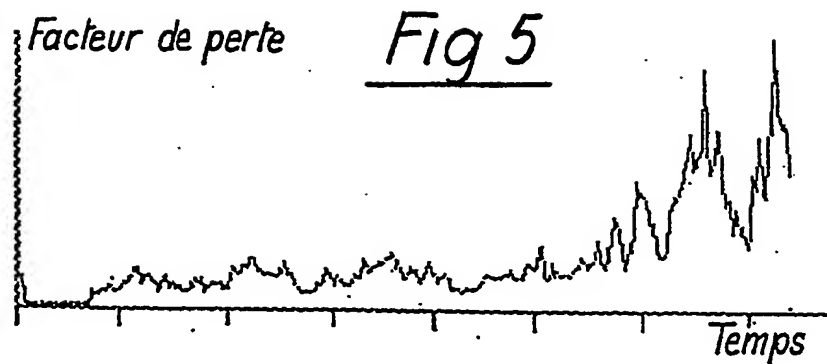
8. Appareil selon la revendication 7, caractérisé en ce que le dispositif utilisateur comporte au moins un dispositif d'affichage d'une grandeur dépendant du déphasage détecté, ou un circuit de commande d'un facteur agissant
30 sur la polymérisation.

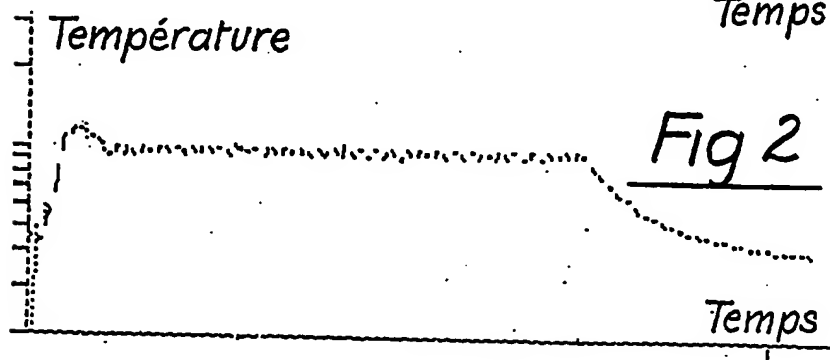
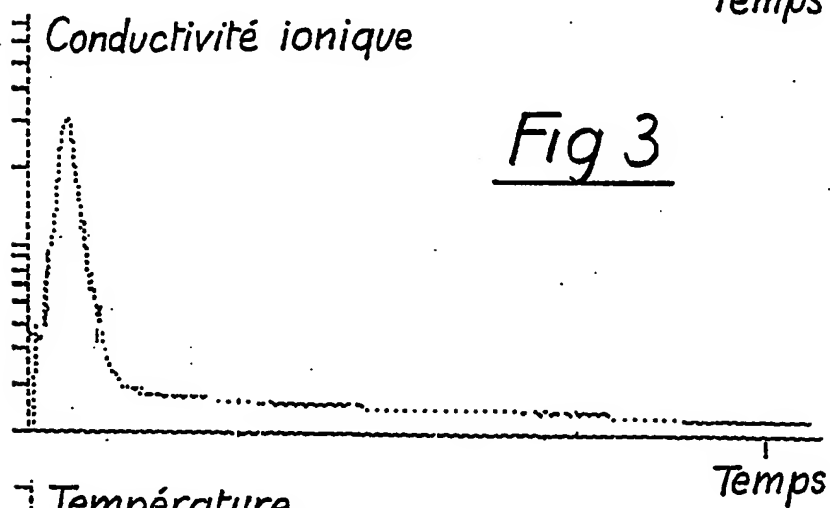
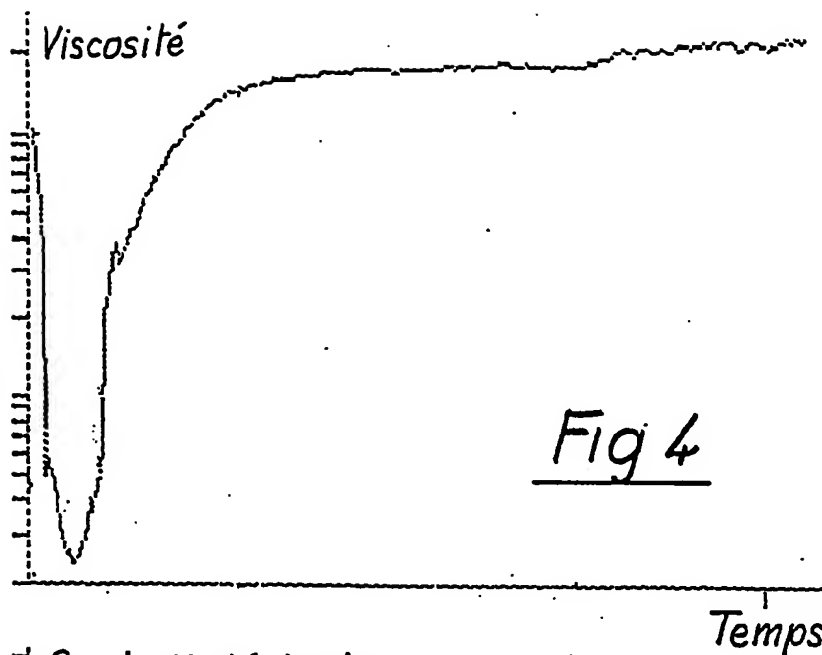
9. Capteur destiné à la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte

35 - un support diélectrique souple (10), et
- un circuit métallique (14-24) formé sur le support diélectrique, formé d'un métal, ayant une faible

épaisseur et comprenant au moins deux ensembles d'électrodes sous forme de peignes imbriqués, l'accès au circuit étant libre de manière que, lorsque les électrodes sont placées contre un objet contenant un polymère non totalement polymérisé, le polymère constitue une partie au moins du diélectrique placé entre les électrodes.

10. Capteur selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un thermocouple juxtaposé au circuit afin qu'il soit au contact d'un objet lorsque le circuit est lui-même au contact de cet objet.





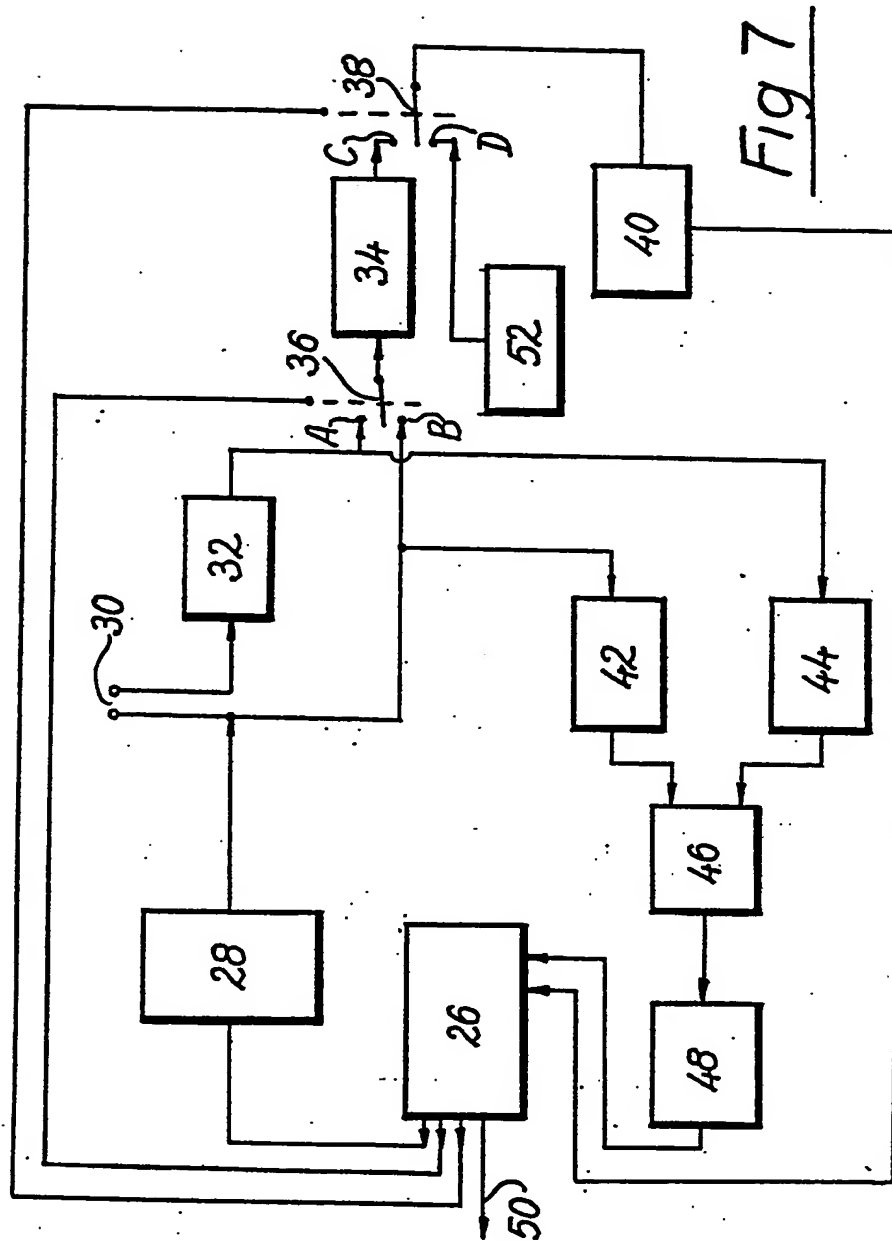


Fig 7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.